

Из рис. 2 видно, что значения в исследуемом диапазоне частот  $u_{2T} > u_{m2}$ . Кроме того, значение  $u_{2T}$  увеличивается с ростом частоты пропорционально  $\sqrt{f}$ . Чувствительность современных микрофонов достаточна для регистрации вторичной звуковой волны  $k_{2T}$ , следовательно, она может быть обнаружена экспериментально.

Список публикаций:

[1] Godin O.A. Anomalous Transparency of Water – Air Interface for Low-Frequency Sound // *Physical review Letters*. V.97. 2006. №16. p. 29.

[2] Ф.Ф. Легуша, К.А. Клубина, Д.В. Никущенко, Е.Ю. Рытов Механизм дополнительного излучения звуковых волн поверхностью жидкости, контактирующей с газообразной средой // *Труды XIV Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики»*. – СПб.: Изд-во ЛЕМА.2018. – 652 с.

[3] Легуша Ф.Ф. Расчет коэффициентов отражения и прохождения плоской волны через границу раздела двух жидких сред с учетом их вязкости и теплопроводности // *Письма ЖТФ*.1982. Т. 8. № 22. С. 1390-1392.

## Исследование процесса проникновения звуковой волны в открытый торец трубы

**Корецкий Артем Вячеславович**

*Санкт-Петербургский государственный морской технический университет*

*Легуша Федор Федорович, д.ф.-м.н.*

*[koreckii1997@mail.ru](mailto:koreckii1997@mail.ru)*

Исследование вопроса волноводного распространения звуковой волны имеет большое значение в науке и технике. Особое внимание при этих исследованиях уделяется изучению физических процессов, возникающих в акустическом поле, возбужденном внутри трубы. Задачей данного исследования является изучение условий, при которых звуковая волна попадает внутрь трубы через открытый торец. Волны распространяются нормально к плоскости отверстия трубы. Рассматриваются случаи, когда отверстие трубы закреплено в бесконечном жестком экране и в фланце конечного размера. Схема расчета (рис.1)

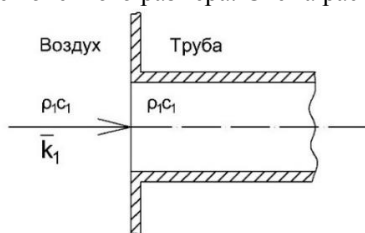


рис.1. Схема расчета

Труба помещена в безграничное пространство, заполненное газом. Звуковые волны, возбуждённые в безграничной среде, одновременно взаимодействуют с концевыми отверстиями трубы. Акустическое поле во внутреннем объёме трубы возникает в результате взаимодействия звуковых волн, проникающих через открытый торец трубы. Параметры и структура этого поля определяются свойствами входных акустических импедансов концевых отверстий. Акустическая энергия, проходящая во внутренний объём трубы, будет пропорциональна коэффициенту поглощения звука

$$D = 1 - |R_p|^2. \quad (1)$$

Коэффициент отражения звука по давлению может быть рассчитан при помощи известного выражения

$$R_p = (Z - \rho c S_f) / (Z + \rho c S_f), \quad (2)$$

где  $Z$  – импеданс излучения отверстия трубы,  $Z_1 = \rho c S_f$ .

Как видно из формул (1) и (2), чтобы найти акустические параметры трубы, необходимо определить входной импеданс открытого отверстия трубы. Задача о нахождении импеданса излучения круглого отверстия, находящегося в бесконечном жестком экране, решена Рэлеем, поэтому воспользуемся его формулой

$$Z = \rho c S_f \left[ 1 - \frac{2J_1(2\mu_1)}{2\mu_1} - i \frac{2S_1(2\mu_1)}{2\mu_1} \right], \quad (3)$$

где  $S_f = \pi R_1^2$ ;  $R_1$  – радиус отверстия;  $J_1(2\mu_1)$  – функция Бесселя первого рода;  $S_1(2\mu_1)$  – функция Струве первого рода;  $\mu_1 = k_1 R_1$  – волновой размер отверстия;  $R_1$  – радиус отверстия.

Для оценки параметров акустического импеданса открытого отверстия трубы воспользуемся результатами работ Е.Л. Шендерова. Для анализа условий прохождения звуковых волн через поперечное

сечение входного отверстия трубы воспользуемся формулой входного импеданса отверстия, находящегося в жёстком кольцевом экране конечных размеров [1]

$$Z = \rho c S_f \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{2J_1(2\mu_1)}{2\mu_1} - i \frac{2S_1(2\mu_1)}{2\mu_1} + \frac{4}{\pi \mu_1^2} \int_0^{\mu_2} g(x) G(x) dx \right], \quad (4)$$

где  $\mu_2 = k_1 R_2$  – волновой размер фланца;  $R_2$  – радиус фланца.

В случае поршневого источника звука в плоскости отверстия трубы функция  $G(x) = x$ , а выражение для  $g(x)$  принимает вид

$$g(x) = (-ix) / \left( 1 + \frac{x^2}{12} - \frac{\mu_2^2}{4} - \frac{2i\mu_2^3}{9\pi} \right). \quad (5)$$

Рассмотрены два крайних случая условий закрепления трубы (1 – труба в бесконечном жестком экране, 2 – труба без фланца, с учетом толщины ее стенок). В рассматриваемом случае  $R_1 = 9,0 \cdot 10^{-3}$  м. Параметры воздуха:  $c_1 = 343$  м/с,  $\rho_1 = 1.205$  кг/м<sup>3</sup>. Рассматриваемые частоты в пределе от 20 Гц до 15 кГц. Результаты расчёта коэффициента поглощения звука в зависимости от волнового размера входного отверстия трубы  $\mu_1$  (рис.2)

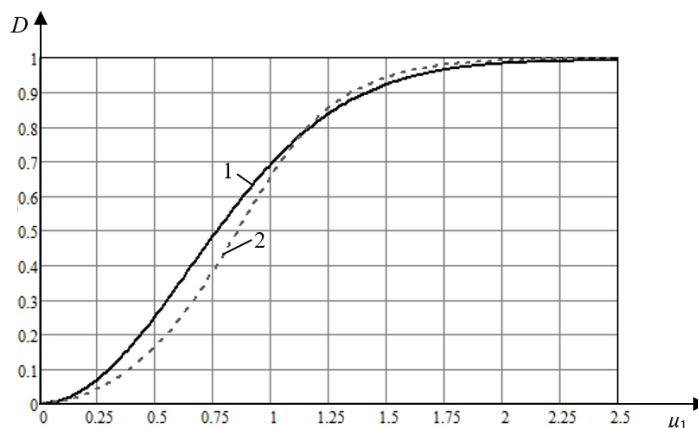


рис.2 – Зависимость от волнового размера коэффициента поглощения звука: 1 – труба в бесконечном жестком экране, 2 – труба без фланца, с учетом толщины ее стенок

На графике (рис.2) можно выделить три характерных области. Если волновой размер отверстия  $\mu_1 \leq 0.3$ , то звуковые волны не проникают во внутренний объём трубы и, как следствие этого, звуковые волны в трубе вообще не распространяются. В случае, когда  $0.3 < \mu_1 \leq 1.4$  звуковые волны проникают внутрь трубы и в результате их взаимодействия в объёме трубы возбуждается акустическое поле, представляющее собой суперпозицию стоячих и бегущих звуковых волн. Звуковая волна входит в отверстие трубы без отражения от его поперечного сечения, если выполняется условие  $\mu_1 \geq 1.4$ . В этом случае отражённая от входного отверстия волна не возникает и внутри трубы существует только бегущая звуковая волна, имеющая плоский фронт. Продольные резонансные колебания в трубе конечной длины, входные отверстия которой открыты, не возбуждаются.

Список публикаций:

[1] К.В. Невеселова, Г.В. Чижов. Исследования спектра собственных колебаний в объёме цилиндрической трубы с открытыми торцами // XXVII сессия РАО (Санкт-Петербург, 16-18 апреля 2014 г.). – 9 с.

## Распределение плотности теплового потока, возникающего на поверхности диска, вращающегося в вязкой жидкости

**Пялов Кирилл Николаевич**

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Легуша Федор Федорович, д.ф.-м.н.

[kir-pyalov@yandex.ru](mailto:kir-pyalov@yandex.ru)

В технике существует множество машин и механизмов, конструктивные элементы которых выполнены в виде плоских дисков. В силу специфики работы таких систем диски вращаются в вязкой жидкости. Движение дисков сопровождается выделением тепла на их поверхностях за счет сил трения. Задачей данной работы является оценка параметров распределения плотности тепловых потоков по поверхности диска. Схема, вращающегося диска приведена на рисунке 1.